

## СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА

*Статья представляет собой обзор основных результатов работ отечественных ученых по изучению влияния солнечной активности на климатические процессы.*

**Ключевые слова:** солнечная активность, атмосферная циркуляция, климатические эпохи, гидрометеорологические характеристики.

**Вступление.** Пристальное изучение временной изменчивости гидрометеорологических характеристик как глобального, так и регионального масштаба приобрело в последнее время особую актуальность в связи с наблюдающимися тенденциями изменения климата.

Цель настоящей статьи дать в виде обзора литературных работ представление об основных результатах, полученных отечественными учеными при изучении вариаций солнечной активности и вариаций климатических характеристик.

Обзор состоит из трех разделов. В первом разделе представлены работы по изучению солнечно-земных связей и вариаций климата. Этот раздел не претендует на исчерпывающую полноту, так как литература по этой теме многочисленна. Во втором разделе приведены работы по изучению вариаций гидрометеорологических характеристик черноморского региона, в третьем - по изучению вариаций таких же характеристик Одесского региона северо-западной части Черного моря. Последние два раздела включают большинство работ, опубликованных по данной тематике отечественными учеными.

В этом сборнике публикуется первый раздел обзора. Остальные два раздела будут опубликованы в следующих сборниках.

**Обзор результатов исследований.** Поиском солнечно-земных связей, изучением обусловленных этими связями климатических процессов в атмосфере и океане, исследованием временной изменчивости различных климатических характеристик глобального и регионального масштаба, а также короткопериодной и долгопериодной изменчивости гидрометеорологических характеристик черноморского региона и, в частности, его северо-западной части занимались многие ученые.

Еще в первые десятилетия XX-го столетия в области изучения солнечно-земных связей работали видные ученые А.Л. Чижевский, Л.С. Берг и В.Ю. Визе, фактически положившие начало изучению этих связей. В.Ю. Визе еще в 30-е годы первый указал на то, что усиление атмосферной циркуляции является основной причиной изменения климатических условий в Арктике, и назвал это глобальное изменение климата катастрофическим.

Из ученых последующего времени следует, прежде всего, упомянуть В.В. Шулейкина, отчетливо показавшего роль океана в формировании климата материков, а также Л.А. Вительса, работы которого являются основными по вопросу о влиянии солнечной деятельности на климат, погоду и особенно на циркуляцию атмосферы, и М.С. Эйгенсона, исследовавшего всю совокупность солнечно-земных связей. Идеи этих ученых до настоящего времени являются актуальными во всех областях этой обширной темы.

Из исследований 50-х годов следует упомянуть работу А.И. Дуванина, в которой установлено, что уровенная поверхность океанов хорошо отражает всю совокупность динамических воздействий атмосферы. Колебания этой поверхности происходят с разными периодами, связанными с 250-летним циклом изменений скорости вращения

Земли, с 80-летним и 11-летним циклом солнечной активности, с 19-летним циклом приливообразующих сил, с 7-летними циклами, возникающими под влиянием 14-месячных нутаций земной оси. Указано на наличие четкой 4-летней периодичности в колебаниях североатлантической системы течений, связанной с колебаниями интенсивности циркуляции атмосферы [1].

Исследованиями процессов атмосферной циркуляции занимался в 40–50-е годы Н.А. Белинский, установивший, что в многолетнем ходе цикло-антициклонической деятельности отмечаются три составляющих: вековой ход, 11-летняя и 2-летняя цикличность. В общем 11-летнем цикле 5–6 лет преобладает циклоническая деятельность, затем 5–6 лет антициклоническая, т.е. прослеживается связь с 11-летним солнечным циклом. Н.А. Белинский также использовал циклические колебания в многолетнем ходе атмосферной циркуляции для прогнозирования водности рек Волги, Камы, Дона, Днепра и Северной Двины и получил хорошие прогностические связи стока этих рек с интенсивностью цикло-антициклонической деятельности атмосферы в районе азорского максимума для периода 11 лет. Эти связи выражаются большими коэффициентами корреляции и имеют высокую достоверность, поскольку вычислены по большому ряду наблюдений (42–50 лет) [2].

В монографии Б.М. Рубашева значительное место уделено обоснованию существования 80-летнего цикла солнечной активности. Отмечается, что усиление солнечной активности ведет к интенсификации обмена теплом в тропосфере либо путем адвекции, либо путем макротурбулентного обмена. Вследствие этого произошло проникновение теплого воздуха в Арктику в 30-е годы. Хотя амплитуда 11-летнего солнечного цикла значительно превышает по солнечным индексам амплитуду 80–90-летнего цикла, тем не менее, климатические эффекты, связанные с последним, значительно большие. По мнению автора, 11-летняя цикличность проявляется в незначительных колебаниях температуры воздуха тропиков, по эффектам осадков и возможно испарения. 80–90-летний цикл через посредство атмосферной циркуляции вызывает весьма существенные колебания климата. Развитие 80–90-летнего цикла ведет к снижению повторяемости числа дней с арктическими вторжениями, в то же время с развитием цикла растет число случаев преобразования типов атмосферной циркуляции из одного в другой. Резкое изменение условий наступает при переходе от последней фазы старого 80–90-летнего цикла к первой фазе нового. Если в конце цикла отчетливо выражены континентальные тенденции в климате, то в начале следующего осуществляется довольно быстрый переход к морским тенденциям. Начало фазы подъема 80–90-летнего цикла пришлось на начало XX столетия, следовательно, конец периода ожидался в конце столетия [3].

В монографии Е.С. Рубинштейна и Л.Г. Полозовой показано, что существует связь температуры воздуха с солнечной активностью, проявляющаяся в 11-летней цикличности. Имеется также связь между повторяемостью определенных форм циркуляции с солнечной активностью. Колебания числа дней с зональной циркуляцией в годы, близкие к вершине векового цикла солнечной активности, синхронны с колебаниями солнечной активности (1940–1960 гг., о. Мадейра). Далее авторы отмечают, что нет единого мнения о предстоящих изменениях климата. Тем не менее, все прогнозы климата основываются на экстраполяции эмпирически установленных связей с солнечной активностью и базируются на прогнозе характера атмосферной циркуляции, связанной с солнечной активностью. Ссылаясь на работы Б.Л. Дзерdzeевского и И.В. Максимова, авторы монографии дают следующий прогноз. Учитывая влияние ветви роста 11-летнего цикла солнечной активности, следовало ожидать с 1965 по 1970 г. уменьшения повторяемости процессов зональной циркуляции, а на ветви спада 11-летнего цикла в 1970–1976 гг. зональная циркуляция

должна активизироваться. В 1982–1987 гг. ожидался глубокий минимум меридиональной циркуляции, что должно было привести к резкому обострению континентальности климата. В заключение авторы отмечают, что, учитывая нестационарный характер атмосферных процессов, приводящих к многолетним колебаниям температуры воздуха, к прогнозам климата следует относиться осторожно [4].

Работа А.Н. Афанасьева посвящена исследованию циклических колебаний и изменений элементов климата, гидрологического режима и причин, их определяющих. Автор приводит различные способы оценки циклических колебаний природных явлений, в частности, способ  $n$ -летних скользящих средних и способ разностных интегральных кривых. Показаны достоинства и недостатки этих способов. Далее рекомендуется применять способ средней арифметической, представляющий частное от деления суммы значений признака  $X_1+X_2+\dots+X_n=\Sigma X$  на число элементов совокупности  $n$  или  $\Sigma X/n$ . По мнению автора, этот способ дает возможность помимо гашения волн малых циклических колебаний отчетливо прослеживать максимумы и минимумы, фазы развития роста и спада и границы циклов исследуемых элементов. В частности границы между полными внутривековыми циклами определяются по времени окончания фазы спада наименьшей мощности  $\Sigma X/n$ . Применяв этот способ, автор выявил малые внутривековые и вековые циклы в колебаниях температуры воздуха, атмосферных осадков и стока рек на территории СССР и показал, что основными причинами циклическости этих элементов является изменчивость солнечной активности, и последующее увеличение, либо уменьшение циклонической деятельности над северным полушарием [5].

Проблемам неустойчивости солнечно-тропосферных связей посвящена монография Б.И. Сазонова и В.Ф. Логинова. В работе показано, что особенно сложный и неустойчивый характер связи с солнечной активностью (через циркуляцию атмосферы) обнаруживают характеристики увлажненности территорий, что связано с нелинейностью связи количества выпадающих осадков с интенсивностью барических образований, которая контролируется солнечной активностью. В качестве наиболее адекватного показателя влияния космических факторов на нижнюю атмосферу авторы предлагают использовать индекс  $K_p$ , характеризующий напряженность межпланетного магнитного поля [6].

Значительных успехов в изучении планетарных циклов достигли исследователи, занимавшиеся в 50–60-е гг. типизацией гидрометеорологических процессов. Исследованиями А.А. Гирса и Б.Л. Дзержеевского установлена преемственность в развитии элементарных синоптических циклов, выявлены естественные сезоны, стадии развития годовых метеорологических циклов продолжительностью 3–6 месяцев, многолетние циклы («стадии циркуляционных эпох»), прослеживающиеся в течение 2–6 лет, а также циклы длительностью от 10 до 30 лет («циркуляционные эпохи»).

А.А. Гирс за время с 1891 по 1969 г. выделил пять эпох (многолетних циклов). Продолжительность каждой из них менялась от 8 до 28 лет. Первый цикл (1891–1899 гг.) характеризовался преобладанием западных типов, чередовавшихся с меридиональными. Следующая, наиболее длительная эпоха (1900–1928 гг.), отличалась резким преобладанием западного переноса в атмосфере. Затем произошла смена на восточный тип циркуляции (1929–1939 гг.). В 1940–1948 гг. преобладал меридиональный перенос. Далее (1949–1968 гг.) меридиональный перенос оставался ведущим в сочетании с восточным типом циркуляции. Основываясь на установленной закономерности последовательности смены типов А.А. Гирс предположил, что в следующем многолетнем цикле продолжительностью 20–25 лет наиболее вероятно преобладание восточного типа циркуляции. При этом в конце эпохи (в 1987–1992 гг.)

следовало ожидать перехода к меридиональному переносу. А.А. Гирсу также удалось успешно связать эпохи атмосферной циркуляции с изменениями температуры воды, ледовитости и колебаниями уровня морей и открытых частей океанов [7]. В отношении возможности влияния солнечной активности на планетарные процессы А.А. Гирс указывает, что атмосфера развивается в основном без участия внешних возмущающих факторов. Однако он же показал, что с увеличением притока солнечной радиации в период преобладания зональной циркуляции усиливается повторяемость меридионального переноса, а зональный тип циркуляции нарушается. Вспышка солнечной активности в период преобладания меридионального переноса усиливает последний [8].

А.А. Гирсом приведены данные о многолетней повторяемости (норме) числа дней с различными формами циркуляции за период 1891–1966 гг. Она составила для западной формы (*W*) - 131 день, для восточной (*E*) - 137 дней, для меридиональной (*C*) - 97 дней. В период повышенной солнечной активности учащаются преобразования зональных переносов (*W*) в меридиональные (*E* и *C*). В результате годовое число дней с меридиональными формами возрастает, а число дней с формой *W* убывает. Так формируется эпоха меридиональных форм циркуляции. В период ослабления солнечной активности зональная циркуляция, свойственная земной атмосфере (в силу неравномерности распределения тепловой энергии с широтой и вращения Земли), нарушается реже. В связи с этим годовое число дней с зональной циркуляцией начинает превышать норму, а с меридиональной становится ниже нормы, т.е. возникает эпоха западной (*W*) циркуляции. Существенная роль в формировании эпох принадлежит и другим внешним факторам. К ним относятся приливные явления в океане и атмосфере, нутация Земли (19-летний цикл), изменение скорости вращения Земли. Эти явления ведут к деформации уровня. В периоды, когда уровенная поверхность Мирового океана наклонена в сторону экватора, ослабевают Гольфстрим и Куроисио, усиливается температурный контраст полюс-экватор и в атмосфере Земли активизируются процессы формы *W*, что способствует возникновению эпохи западной циркуляции. При наклоне уровня в сторону полюса отмечается активизация форм (*E* и *C*), что способствует возникновению эпох меридиональных форм (*E* и *C*) [9, 10].

Б.Л. Дзердзеевский по многолетнему изменению повторяемости зональных и меридиональных групп циркуляции атмосферы от их средней годовой продолжительности проследил наличие планетарных циклов с продолжительностью от 1,5 до 3 лет. Получив по тем же исходным данным десятилетние скользящие величины, он выделил три многолетних цикла, названных им циркуляционными или климатическими эпохами. Первая эпоха, начавшаяся в конце XIX века и продолжавшаяся до конца второго десятилетия XX века, отличалась резко выраженным усилением меридиональной и ослаблением зональной циркуляции атмосферы. Вторая эпоха, длившаяся до начала 50-х годов, характеризовалась преобладанием зональной циркуляции. Затем она сменилась преобладанием меридиональной циркуляции. Середина последней, третьей эпохи приходится на середину 60-х годов, после чего ожидалось убывание меридиональных процессов и окончание этой эпохи в 70-х годах. Длительность меридионального цикла составляет около 18–20, а зонального – 35 лет. Различие в продолжительности эпох связано с более интенсивным нарастанием повторяемости меридионального переноса, что объясняется быстротой смены меридиональных процессов за счет меньшей продолжительности первичных элементарных циркуляционных механизмов. Переход от одной эпохи к другой происходит при последовательном увеличении повторяемости тех типов макроциркуляционных процессов, которые станут преобладающими в наступающем цикле [11–13].

Следует отметить, что в начале 60-х годов был опубликован ряд работ, авторы которых пытались установить связи многолетних изменений в режиме морей с изменениями их биологической продуктивности. Здесь следует упомянуть работу Г.К. Ижевского, в частности, установившего связь стока реки Дон со среднегодовыми температурами слоя воды 0–200 м в Баренцевом море на Кольском меридиане за период 1921–1957 гг. Коэффициент корреляции этой связи достаточно высок ( $-0,71$ ). Эмпирическая формула связи имеет вид:  $lg(y)=3,70-3,79lg(x)$ , где  $y$  - годовой сток Дона,  $x$  - среднегодовая температура в Баренцевом море. Средне многолетнему стоку Дона  $26 \text{ км}^3$  соответствует средняя многолетняя температура воды  $4,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Автором отмечено, что приток на север Атлантики теплых вод через систему взаимодействия океан - атмосфера - материк определяет многолетнюю периодичность процессов в Азовском море. В колебаниях стока Дона прослеживается многолетняя приливная периодичность, отмечающаяся для северных морей: 4–5-летняя, 8–10-летняя и 18–20-летняя. Фазы колебаний в Азовском море противоположны по отношению фаз в северных морях. Эти связи прослеживаются и в биологических процессах [14]. А.К. Богданова установила, что в колебании запасов и уловов всех рыб Азовского моря четко вырисовывается цикличность с периодами 5–7, 9–11 и 14–16 лет, что соответствует многолетнему ходу индексов атмосферной циркуляции, материкового стока, уровня и других гидрологических характеристик Азовского и Черного моря [15].

В работе В.С. Назарова говорится о том, что изменения ледяного покрова океана наиболее полно и точно отражают происходящие изменения теплового состояния поверхности Земли, т.е. площади и объемы льда в море как бы подытоживают действие всех климатообразующих факторов. В этой связи приводятся данные об изменениях ледовитости Карского моря в конце лета с 1750 по 1961 г. и ход солнечной активности. Показано, что повышению солнечной активности соответствует уменьшение количества льда и наоборот, понижению ее – увеличение количества льда. Интегральные кривые отклонений от средних значений выявили колебания рассматриваемых величин с периодом в 80–100 лет. Путем экстраполяции автор прогнозирует в соответствии с прогнозом падения солнечной активности, что до 1980 г., а возможно и до 2000 г., следует ожидать увеличения площади льда в Мировом океане, а также роста ледников. И как результата этих климатических изменений следует ожидать повышения уровня Каспийского моря и понижения уровня Аральского моря, так как в средней полосе возрастет континентальность климата, будет наблюдаться преобладание летом зональных, а зимой меридиональных переносов воздушных масс [16].

В 1970 г. опубликована монография И.В. Максимова, которая подвела итог многолетним исследованиям автора в изучении воздействия на воды океана геофизических сил, связанных со строением Земли, и сил внешних, т.е. сил космического происхождения. Вместе с тем монография явилась наиболее капитальным трудом, в котором подытожены исследования многих предшественников автора, работавших в этой области науки, и дано полное представление о состоянии изученности данного вопроса в то время. Уделяя основное внимание океану, автор подчеркивает, что океан с присущими только ему особыми явлениями, управляя перераспределением тепла на Земле, создает реальный климат Земли. Все значительные изменения режима вод океана и особенно его циркуляции проявляются в соответствующих вариациях климата отдельных районов Земли, что говорит о первостепенности изучения вариационного режима океана. Укажем на отдельные моменты монографии, касающиеся периодичности процессов, при воздействии космических и геофизических сил на океан и атмосферу.

Многолетние изменения приливообразующей силы Луны являются причиной возникновения в Мировом океане глобальной волны многолетнего лунного прилива, что отражается в многолетних изменениях режимных характеристик отдельных частей океана. В спектре частот, характеризующих изменения климатических характеристик моря давно известна неустойчивая вариация режима, характеризуемая частотой, изменяющейся от 17 лет до 21 года. Многолетний лунный 19-летний прилив характеризуется увеличением размеров с широтой. В районе полюса многолетний прилив изменяет высоту среднего уровня океана на 7 см, что должно приводить к многолетнему изменению режима вод и льдов Арктики. Известно, что изменчивость Гольфстрима также характеризуется 19-летним ритмом. Имеются характерные признаки существования этого приливного ритма и в атмосфере Земли, в частности, в многолетнем изменении долготы исландского минимума атмосферного давления. Это, в свою очередь, приводит к изменению траекторий циклонов и определяет погоду над ЕТС. Другой основной климатообразующей причиной И.В. Максимов считает нутацию земной оси. В работе приведены данные, подтверждающие проявление в океане так называемого полюсного прилива, имеющего в Мировом океане 14-месячную волну, и наличие нутационной вариации в миграции исландского минимума давления. Наложение этой волны на сезонные и годовые колебания уровня моря или колебания атмосферного давления создает отчетливый 7-летний ритм, т.е. возникают 7-летние колебания многих показателей режима моря и климата Земли. Эти нутационные колебания проявляются через изменения циклоничности и соответственно снежности зим в таких интегральных показателях климата, каким является сток рек. Рассматривая солнечно-земные связи, И.В. Максимов сделал долгосрочный прогноз вековой вариации солнечной деятельности. По этому прогнозу в 1940–1980-е гг. происходит спад векового уровня солнечной деятельности (80–90 летней средней периодичности) и минимума следует ожидать в 1987–1997 гг. С учетом 11-летней вариации солнечной деятельности, в этот период следует ожидать «неинтенсивных максимумов реальной солнечной деятельности» и «крайне глубоких минимумов солнечной деятельности». По мнению ученого вековой ритм солнечной деятельности составляет самое крупное из всех известных климатообразующих явлений, проявившееся, например, в засухе 90-х годов XIX века, потеплении Арктики и уменьшении ледовитости арктических морей в 30-х и 40-х годах XX века, падении уровня Каспийского моря и др. В соответствии с прогнозом, к 1982–1992 гг. в связи с изменением общей циркуляции атмосферы («северным дрейфом» азорского максимума и «южным дрейфом» исландского минимума), должна возрасти ледовитость морей Арктики. Используя индексы циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса, И.В. Максимов на основании данных наблюдений 1900–1960 гг. получил вековой ход колебаний индекса западной формы циркуляции атмосферы (*W*) в атлантической зоне северного полушария и сделал прогноз до 1975 г. Согласно этим расчетам в период 1920–1950 гг. влияние западной формы циркуляции постепенно ослабевало, а затем тенденция менялась на обратную и до 1975 г. ожидалось усиление этой формы циркуляции [17].

На цикличность процессов в океане и атмосфере обращено особое внимание в работе В.Н. Степанова. Не претендуя на новаторство в данном вопросе, автор приводит достаточно подробную информацию о состоянии изученности вопроса на данном этапе и подчеркивает роль климата и его взаимосвязи с процессами в океане [18].

В монографии Дж.Р. Германа и Р.А. Голдберга проведен анализ многочисленных зарубежных исследований корреляционных связей между 11-летним и 22-летним циклами солнечной деятельности и такими климатическими характеристиками, как осадки и их косвенные показатели (паводки и изменения уровня воды в озерах), температура воздуха, давление и ветер, а также пути циклонов.

Обнаруженные многочисленные корреляции, по мнению авторов, неоспоримо свидетельствуют о реальности связей между климатом и изменениями радиации, зависящими от различных явлений на Солнце [19].

Существуют и отрицательные мнения о наличии связей между процессами на Солнце и изменениями климата на Земле. Приводим некоторые из них.

С целью выяснения вопроса о том, имеется ли связь между погодой и колебаниями солнечной активности, А.С. Монин проанализировал 130-летний ряд наблюдений температуры воздуха в Москве и 198-летний ряд по Ленинграду и выяснил, что наиболее выраженные колебания средних месячных значений температуры воздуха имеют значительно меньшие периоды, чем колебания чисел Вольфа, и какой-либо тесной связи между фазами колебаний температуры и числами Вольфа не имеется. Спектры колебаний температуры показали, что 11,5-летний период на них не выражен, а имеется размытый максимум в интервале периодов между 2 и 5 годами. В работе упомянуты аналогичные данные для некоторых станций США, давшие такие же результаты. В спектрах 100–160-летних рядов годовых сумм осадков на восьми станциях в Европе периоды в 22–23 года, 11–12 лет и 5–6 лет так же не проявляются. Высказано сомнение и о существовании 80–90-летнего цикла солнечной активности, так как, по мнению автора, наличие двух таких циклов при 23-летнем сглаживании значений чисел Вольфа не является достаточным обоснованием такой цикличности. Необоснованным считает автор и связывание роста чисел Вольфа в первой половине XX в. с происходившим в это время потеплением, так как такой же рост чисел Вольфа сто и двести лет назад аналогичными потеплениями не сопровождался. На основании всего этого автором сделан вывод о том, что выявление долгосрочных процессов взаимодействия океана и атмосферы позволяет обходиться без гипотезы о солнечных воздействиях в интервале междугодовых колебаний [20, 21].

О недоказанности прямого воздействия солнечной активности на земную погоду говорится также в работе С.П. Хромова. По мнению исследователя все имеющиеся данные о подобных связях в масштабе 11–22 лет основаны или на неправильном применении методов математической статистики, или на специальном, пристрастном отборе данных, создающем кажущуюся корреляцию между рассматриваемым рядом событий погоды и солнечной активностью, и что если будущие данные и более аккуратный анализ и выявят статистически значимые связи, то они смогут быть ответственными лишь за слишком малую долю общей изменчивости погоды [22].

В работе В.В. Лыкова и А.А. Лыковой рассматривается вопрос о связи вековой изменчивости теплового состояния океанических вод и некоторых показателей циркуляции. Для анализа были выбраны температура воды на норвежских станциях и Кольском меридиане и повторяемость форм Вангенгейма-Гирса и индексов атмосферной циркуляции Каца. Показано, что в Северной Атлантике в январе и июле проявляется сопряженность фоновых изменений температуры воды на поверхности моря и циркуляции атмосферы. Повышению температуры воды в эти месяцы соответствует ослабление западного переноса. Ослаблению или усилению южного переноса соответствуют такие же изменения в термике вод [23].

В работе И.М. Соскина и др. показано, что между процессом теплоотдачи в Северной Атлантике и макроциркуляционными атмосферными процессами над Арктикой и северо-восточной частью Атлантики существует определенная связь. Рассматривая во взаимосвязи эти крупномасштабные явления, авторы отмечают, что в 60-е годы при наметившейся тенденции увеличения теплоотдачи тепла в атмосферу происходило неуклонное общее уменьшение повторяемости западной формы циркуляции *W* (эта тенденция наблюдалась и в первые годы 70-х годов), и, с другой

стороны, увеличение повторяемости восточной формы *E*. Так в 1972 г. число дней с восточной формой циркуляции *E* достигло 246 (максимальная величина с 1891 г.), что и явилось причиной длительной летней засухи на ЕТС в данном году. Таким образом, рост температуры воздуха в тропосфере над Атлантикой и Европой способствует деформации высотного термобарического поля в направлении, соответствующем переносу типа *E*. Авторами отмечена также связь между аномалиями долготы центра азорского максимума и повторяемостью меридиональной формы атмосферной циркуляции *C*. Показано, что при наиболее западном положении центра азорского максимума имеет место высокая повторяемость формы *C* (начало 60-х гг.). При уменьшении аномалии западной долготы центра максимума повторяемость процессов формы *C* уменьшается (середина 60–70 гг.) [24].

В работе В.В. Ефимова и др. обращено особое внимание на связь метеорологических процессов над югом европейской территории страны (ЕТС) с процессами в Северной Атлантике. На основании анализа межгодовой изменчивости индекса западного переноса ( $\Delta P_z$  – разности приземного давления в центрах азорского максимума и исландского минимума) за январь-март 1951–1990 гг. показано, что крупномасштабные аномалии циркуляции атмосферы в Северной Атлантике проявляются в полях температуры и осадков над ЕТС. Так, показано, что ослабление зонального переноса в 1951–1970 гг. сопровождалось повышением циклонической активности над ЕТС, что, в свою очередь, привело к понижению средней температуры воздуха над Европой и повышению осадков. Рост  $\Delta P_z$  в 1971–1980 гг. сопровождался лишь небольшим уменьшением циклонической активности над ЕТС, что явилось одной из причин роста температуры воздуха. Аномально большие величины  $\Delta P_z$  в январе-марте 1989 и 1990 гг. явились причиной значительного уменьшения осадков в южных районах ЕТС (приведены данные по Севастополю) [25].

В работе Н.В. Вакуленко и др. на основании анализа 105-летних рядов данных за 1891–1995 гг. средних месячных значений атмосферного давления, а также широт и долгот восьми центров действия атмосферы северного полушария (ЦДА) было выявлено, что 1950 г. оказался переломным в эволюции общей циркуляции атмосферы в XX веке. Начиная с этого времени, градиент давления между азорским максимумом и исландским минимумом монотонно возрастал, т.е. суперротация атмосферы в умеренных широтах усиливалась, что, по мнению авторов, могло привести к аномально теплым летним месяцам 1998-1999 гг. [26].

В работе Н.С. Сидоренкова приводятся тесные связи флуктуации вращения Земли с колебаниями климатических характеристик. В период замедлений скорости вращения Земли повторяемость меридиональной формы атмосферной циркуляции (*C*) в первом секторе Северного полушария (от 50° з.д. до 80° в.д.) увеличивается, а зональной (*W* и *E*) уменьшается. Уменьшаются массы льда в полярных областях и темпы роста глобальной температуры воздуха, общее количество облачности и осадков. Увеличивается средняя скорость ветра в приземном слое и испарение с поверхности суши и моря. В 1973 г. начался период ускоренного вращения Земли, который закончится в 2005–2010 гг. и наступит период замедленного вращения Земли, что приведет к началу новой климатической эпохи, которая продлится около 35 лет (до 2040–2045 гг.) [27].

В работе П.И. Бухарицина и А.Н. Андреева приведена классификация основных циклов солнечной активности. Это 11-летние (Швабе-Вольфа), 22-летние (Хойла), 80-летние («вековые») и 190-летние («индиктицион») циклы. Отмечается, что влияние солнечной активности на климатические характеристики носит региональный характер, усиливая атмосферные процессы в одних регионах и ослабляя в других. Использование данных многолетних наблюдений за температурой воздуха по Астрахани с 1836 г.



позволило авторам выявить особенности температурного режима на протяжении с 8-го по 23-й одиннадцатилетний цикл солнечной активности и распространить их на весь северо-каспийский регион. Авторами выделен индиктион продолжительностью 175 лет (1833–2007 гг.), состоящий из двух вековых циклов продолжительностью 91 год и 84 года (1833–1923 и 1924–2007 гг.) и из восьми 22-летних или шестнадцати 11-летних. По прогнозу авторов очередной 24-ый четный одиннадцатилетний цикл должен был начаться в 2007 г. и продлится до 2017 г. Характерное для четных 11-летних циклов понижение атмосферного давления в полярных областях приведет к смещению центра арктического антициклона к северо-востоку. В северо-каспийском регионе увеличится антициклоничность климата. Уменьшится годовой сток Волги в Каспийское море. Погода станет засушливее. Уменьшится количество осадков и понизится температура воздуха. Следует ожидать засушливую с холодными зимами погоду [28].

В монографии А.Б. Полонского изучены некоторые механизмы взаимодействия в системе океан–атмосфера. Отмечается, что короткопериодные климатические вариации в системе океан–атмосфера с типичными периодами от 2 до 7–8 лет надежно выделяются в различных регионах земного шара по разным типам данных, т.е. носят глобальный характер. В долгопериодной изменчивости океанических и атмосферных параметров наличествуют две разные моды с типичным временным масштабом в 10–30 и 50–100 лет. По мнению автора, причинами таких климатических колебаний являются внутренние факторы, т.е. изменения внутри самой климатической системы в результате взаимодействия океана, атмосферы, литосферы и биоты. Влияние же внешних факторов (изменение солнечной постоянной и приливные изменения) незначительно. Ссылаясь на исследования А.С. Монины, автор утверждает, к примеру, что 11-летний цикл и его составляющие фиксируются лишь в небольшом (не более 20%) количестве случаев, да и обусловлено это неточностью оценки спектральной плотности при сравнительно небольшом объеме выборки [29].

В еще одной работе А.Б. Полонского проанализирована проблема глобальных и региональных последствий естественных и антропогенных изменений климата, процессов крупномасштабного взаимодействия океана с атмосферой в Северной Атлантике и вероятность возникновения термохалинной катастрофы в современную климатическую эпоху. Ссылаясь на иностранные источники автор приводит данные, что на протяжении последних 50–150 лет наблюдается увеличение глобальной температуры приземного слоя атмосферы (по оценкам разных авторов от 0,6 до 0,75 °C/100 лет). Причиной такого тренда считается антропогенный фактор. Ежегодная глобальная эмиссия углекислого газа в атмосферу оценивается в 23,5 Гт в 1990-е гг. и 26,4 Гт в 2000–2005 гг. Увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере приводит к парниковому эффекту, т.е. радиационному нагреву приземного слоя атмосферы, величина которого для 2005 г. оценивается в 1,66 Вт/м<sup>2</sup>. Другие парниковые газы антропогенного происхождения (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, гидрофторуглеводородные соединения) приводят к радиационному нагреву нижней тропосферы, оцениваемому для 2005 г. в 0,98 Вт/м<sup>2</sup>. Суммарное же воздействие выбрасываемых аэрозолей, действующих на радиационные свойства атмосферы в прямо противоположном направлении, для 2005 г. считается равным –1,3 Вт/м<sup>2</sup>. А общее радиационное воздействие парниковых газов и аэрозолей антропогенного происхождения оценивается для 2005 г. в 1,6 Вт/м<sup>2</sup>. Вместе с тем в 2005 г. наблюдался повышенный приток солнечной радиации за счет абсолютно естественных причин на уровне 0,12 Вт/м<sup>2</sup>, который вносил свой вклад в повышение средней температуры нижней тропосферы, никак не связанный с парниковым эффектом. Поэтому вопрос относительно роли естественных изменений, происходящих в климатической системе, остается открытым. Поэтому в настоящее время фактически достигнуто согласие

относительно самого факта увеличения глобальной приземной температуры на протяжении последних десятков лет. Это потепление служит основной причиной увеличения уровня Мирового океана и уменьшения снежного покрова в Северном полушарии. Вместе с тем, региональные последствия антропогенного влияния на различные климатические характеристики значительно менее значимы, чем глобальные. Далее в работе говорится о том, что на территории Европы выделяется периодическое низкочастотное (приблизительно 60-летнее) изменение приземной температуры с амплитудой около 0,2 °С. Величина линейного тренда приблизительно совпадает с величиной тренда глобальной температуры (0,6–0,7 °С/100 лет). В последние 10 лет наметилась тенденция резкого роста приземной температуры, но это, по мнению автора, связано с совпадением знака тренда в квазипериодической 60-летней компоненты изменчивости, которая в настоящее время находится в фазе роста. В период же противоположной фазы этого квазипериодического процесса следует ожидать компенсации линейного тренда уменьшением температуры квазипериодического характера. Именно такая ситуация наблюдалась в середине XX века и повторится, по всей вероятности, в ближайшее время. И, наконец, на основании анализа различных палеоданных и численных расчетов автор делает вывод о том, что изменения климата естественного происхождения могут быть не меньше антропогенно обусловленного роста температуры и даже превышать его. Реализация же термохалинной катастрофы (т.е. изменение знака меридиональных градиентов плотности в Северной Атлантике, обусловленное увеличением перепадов солености между низкими и высокими широтами, и прекращение термохалинной конвекции в высоких широтах) в настоящее время и в последующие 100–200 лет исключительно маловероятно [30].

**Выводы.** Большинство авторов, изучавших многолетние колебания климата, считают основной причиной таких колебаний солнечную активность. Вместе с тем, некоторые из них отмечают неустойчивость солнечно-земных связей, а некоторые и вовсе отрицают влияние солнечной активности на многолетние колебания климата. Как бы то ни было, исследования в этой области не прекращаются, поэтому настоящий обзор не является исчерпывающим, и будет пополняться как уже опубликованными ранее и не попавшими в поле зрения автора литературными источниками, так и новыми, которые непременно появятся в будущем.

### Список литературы

1. Дуванин А.И. Средний уровень океанов как показатель процессов взаимодействия океана и атмосферы // Труды ГОИН. – 1951. – Вып.9. – С. 21–45.
2. Белинский Н.А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 202 с.
3. Рубашев Б.М. Проблемы солнечной активности. – Наука, 1964. – 364 с.
4. Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 268 с.
5. Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. – М.: Наука, 1967. – 232 с.
6. Сазонов Б.И., Логинов В.Ф. Солнечно-тропосферные связи. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 116 с.
7. Гирс А.А. Основы долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 560 с.
8. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 280 с.
9. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 488 с.

10. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 344 с.
11. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. – М.: Изд. Межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР, 1968. – 138 с.
12. Дзердзеевский Б.Л. Многолетние флуктуации общей циркуляции атмосферы и климата и главные закономерности планетарной циркуляции // Общая циркуляция атмосферы. Метеорологические исследования. – М.: Наука, 1968. – №16. – С. 252–272.
13. Дзердзеевский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы и климата. – М.: Наука, 1975. – 288 с.
14. Ижевский Г.К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. – М.: Пищепромиздат, 1961. – 428 с.
15. Богданова А.К. Цикличность в колебаниях гидрологических факторов и продуктивности морей (на примере Азовского моря) // Океанографические исследования Черного моря. – К.: Наукова думка, 1967. – С. 129–153.
16. Назаров В.С. Ледяной покров океанов и направленность климатических процессов Земли // Мировой океан. Вопросы географии, №84. – М.: Мысль. – 1970. – С. 224–232.
17. Максимов И.В. Геофизические силы и воды океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 448 с.
18. Степанов В.Н. Океаносфера. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
19. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 320 с.
20. Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. – М.: Наука, 1969. – 184 с.
21. Монин А.С. Солнечный цикл. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 68 с.
22. Хромов С.П. Солнечные циклы и климат // Метеорология и гидрология. – 1973. – №9. – С. 93–110.
23. Лыкова В.В., Лыков А.А. О сопряженности фоновых изменений температуры воды и атмосферной циркуляции // Экспресс информация ВНИИГМИ-МЦД. Океанология. – 1977. – Вып.2(42). – С. 1–6.
24. Соскин И.М., Смирнова А.И., Кузнецов В.И., Ерофеева Е.С. Характеристика изменчивости суммарной теплоотдачи Северной Атлантики и некоторые вопросы взаимосвязи ее с температурой // Труды ГОИН. – 1976. – Вып.131. – С. 3–28.
25. Ефимов В.В., Сизов А.А., Юровский А.В. О взаимосвязанности атмосферных и океанических термодинамических полей в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология. – 1991. – №6. – С. 55–61.
26. Вакуленко Н.В., Монин А.С., Шишков Ю.А. Об изменениях общей циркуляции атмосферы в XX веке // Доклады РАН. – 2000. – т. 371. – №6. – С. 802–805.
27. Сидоренков Н.С. Приливы дирижируют погодой // Земля и Вселенная. – №5. – 2003. – С. 9–15.
28. Бухарицин П.И., Андреев А.Н. Ритмы солнечной активности и ожидаемые экстремальные климатические события в северо-каспийском регионе на период 2007–2017 гг. // Труды международной научной конференции «Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе». – М.: 2006. – С. 137–143.
29. Полонский А.Б. Роль океана в изменениях климата. – К.: Наукова думка, 2008. – 184с.
30. Полонский А.Б. Глобальное потепление, крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера, термохалинная катастрофа и их влияние на климат Атлантико-Европейского региона. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 46с.

**Сонячна активність і часова мінливість клімату. Доценко С.А.**

*Стаття є огляд головних результатів робіт вітчизняних вчених по вивченню впливу сонячної активності на кліматичні процеси.*

**Ключові слова:** сонячна активність, атмосферна циркуляція, кліматичні епохи, гідрометеорологічні характеристики.

**Sun activity and temporal variability of climate. Dotsenko S.A.**

*The article is a review of basic performances of jobs of domestic authors on the study of influencing of sun activity on the climatic processes.*

**Key words:** sun activity, atmosphere circulation, climatic epochs, hydro-meteorological characteristics.